

補助事業番号 28-119

補助事業名 平成28年度 表面テクスチャリングによるハイブリッド薄膜の開発 補助事業

補助事業者名 佐賀大学大学院 機械システム工学専攻 准教授 長谷川裕之

1 研究の概要

切削工具・摺動部材・機械部品はその表面で仕事を担うため、使用環境に応じて、多彩な表面機能が求められる。本事業では、フォトリソグラフィにより基板表面にテクスチャ構造を作製するマスキング技術を構築し、テクスチャ構造を応用したハイブリッドコーティングを開発した。ハイブリッドコーティングは、2種類のセラミック薄膜を並列配置した構造を持ち、既存の薄膜の微細構造とは異なる。事業期間において、窒化チタン系薄膜・金属含有アモルファスカーボン薄膜からなるハイブリッドコーティングの作製手法を確立させ、X線回折法・レーザー顕微鏡による微細構造解析、ボールオンディスク試験による摩擦係数の評価、スクラッチ試験による密着性評価を行い、ハイブリッドコーティングの表面特性を明らかにした。

2 研究の目的と背景

自動車および航空機のエンジンの部材には、アルミニウム合金、Ni基超合金などの多岐に渡る素材が用いられる。これら素材は、機械強度、融点を代表とする固有の材料特性を持つため、切削加工時には、素材と工具の溶着、切削抵抗による摩耗、摩擦力の増大による発熱が生じ、工具損傷の進行および工具寿命の低下を導く。

本事業では、工具損傷の抑制および工具の長寿命化に寄与する表面処理技術の開発を試みた。具体的には、半導体技術であるフォトリソグラフィおよび表面処理技術を併用することにより、補助事業者がこれまでに開発した薄膜を融合したハイブリッドコーティングを合成し、ハイブリッド構造が表面特性に与える効果を解明した。下記に本事業の目的を示す。

- ① マイクロメートル領域まで凹凸構造を微細化するためのフォトリソグラフィを用いたマスキング技術を構築し、材質の異なる薄膜を緻密に並列配置したハイブリッドコーティングを開発する。
- ② 微細化したハイブリッドコーティングの硬度値、摺動特性、密着性の評価を通じて、体系的に表面機能を調べるとともに、薄膜機能の制御を行い、既存の薄膜に対する優位性を解明する。

3 研究内容

① 微細マスクパターンの構築

本項目では、半導体分野で利用されるフォトリソグラフィ技術により、複数の薄膜を基板上に分散配置するためのマスクング処理を行った。図1(a)~(e)に示すように、レジストと呼ばれるフェノール樹脂の一種と感光剤を成分とする溶液を塗布し、固化させ、フォトマスクを設置し紫外線を照射する。現像において、紫外線が照射された箇所の感光剤が変化するため、レジストの一部が現像液に溶出し、マスクング処理が完了する。その後、薄膜を堆積させ、剥離液によりレジストを除去する。本処理により凹凸構造に持つテクスチャ薄膜の作製を可能にした。

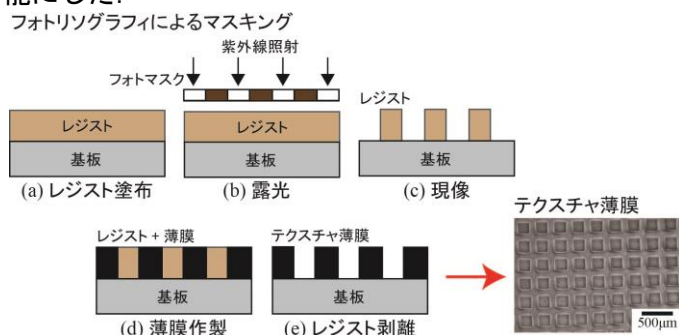


図1：フォトリソグラフィによるマスクング処理・テクスチャ薄膜

② ハイブリッドコーティングの作製

本項目では、高周波マグネトロンスパッタリング法によりハイブリッドコーティングを作製するとともに、比較の対象とするため、単層膜・積層膜も併せて合成した。単層膜のTiN(図2(a))およびTiAlN(図2(c))は、平坦な表面構造を持つ。本事業で開発したハイブリッドコーティング(図2(b), (d))は、結晶質であるTiNまたはTiAlNと非晶質であるSi-DLCから構成される。セラミック薄膜の高強度化を図るため、複数の薄膜を積み重ねる積層構造が一般的に採用されることが多いが、ハイブリッドコーティングは、既存の薄膜構造とは異なる新規性のある構造を持つ。

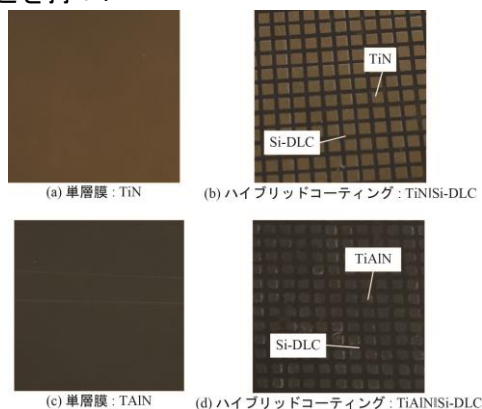


図2：単層膜・ハイブリッドコーティングの表面観察

③ ハイブリッドコーティングの表面機能評価

本項目では、ハイブリッドコーティングの表面機能を解明するため、微細構造解析・摩擦係数測定・密着性評価・微小硬度測定を実施した。ハイブリッドコーティングは、結晶性薄膜および非晶質薄膜から構成されるが、X線回折法の分析結果より、結晶性薄膜であるTiN・TiAlNの形成を確認した。図3に示すように、摩擦係数の測定結果では、ハイブリッドコーティングの摩擦係数は、単層膜・積層膜に比べ、低い値を示した。上記の要因として、非晶質薄膜であるSi-DLCが相手材である摺動ボールをすべらせる低摩擦機能を表面に付与したためと考えられる。また、図4に示すように、密着性評価では、ハイブリッドコーティングが剥離する臨界荷重は、単層膜・積層膜に比べ増加し、密着性が向上する結果を得た。密着性向上の明確な要因は、複雑であるために断定できないが、窒化物と炭化物の界面における結合形成の容易さ、コンジットを構成する四角柱膜の接合面の増加が密着性の向上に関与していると推定される。

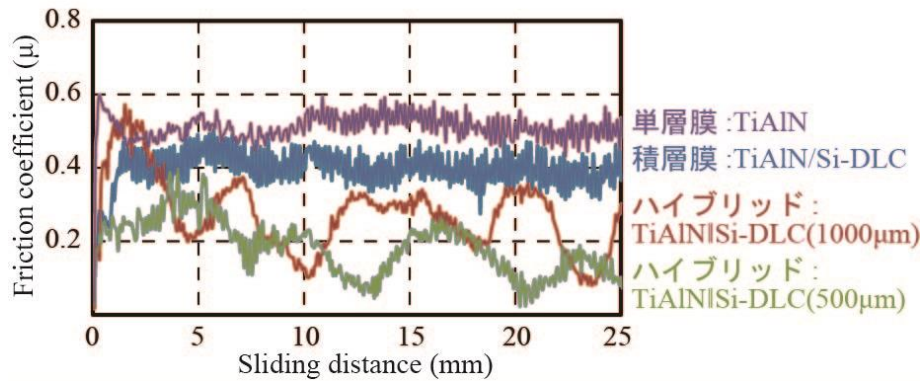


図3: 単層膜・積層膜・ハイブリッドコーティングの摩擦係数

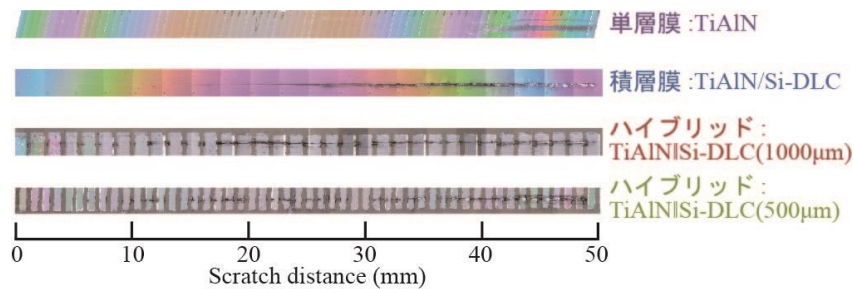


図4: 単層膜・積層膜・ハイブリッドコーティングの密着性

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

セラミック硬質膜は、切削工具・摺動部材・機械部品の耐摩耗膜として利用されており、これらの部材の使用環境に応じて多くのニーズが存在する。例えば、(1) 切削工具では、過酷な切削条件における工具の長寿命化の実現、(2) 油圧用メカニカルシールでは、気密性を保つための低摩擦・耐疲労性を持続、(3) 内燃機関で用いられるシリンダブロック・ピストンでは、燃費向上のためのフリクション制御・耐焼付性・高熱伝導性の付与が必

要とされる。

本事業では、構造制御が容易なマイクロ領域に着目し、表面機能の制御と新規構造の構築による機能性の発現を試みるものであり、本事業の成果は、薄膜の設計指針に大きく寄与と考えられる。そして、耐摩耗膜の開発の変遷において、TiAlN を代表とする窒化物膜への添加元素を選定し、その含有量を最適化することにより、表面特性の改善が図られてきた。化学組成による手法では、特定の表面機能を際立たせることは可能であるが、実際に薄膜を応用する際に求められる、多彩な機能性の付与・実現は難しい。本事業では、長所の異なる薄膜の融合により、機械的性質(耐摩耗性)・耐酸化性・潤滑特性などの複数の表面機能を意図的に作り出すことができるため、切削工具・摺動部材・機械部品の性能向上に寄与すると考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

現在にいたるまで、補助事業者は、表面処理にかかわる基礎および応用研究に従事している。これまでの研究活動において、相変態領域に着目した窒化物硬質膜、高融点元素を含有する窒化物膜、金属を含有した炭素系膜などの研究を推進してきた。研究過程において、薄膜の微細構造を制御することにより、表面機能を発現できる知見を得ると同時に、薄膜のある機能を向上させると、その他の機能が低下するトレードオフの現象を回避し、意図する複数の機能性を付与する方法を模索してきた。

本事業において、従来の積層構造とは一線を画する新規構造の開発に着手するとともに、摩擦係数・密着性に関する成果を得ることができた。融合する薄膜の選定・形状精度の追求・表面形態のデザインの観点から、さらに研究を進め、表面機能の向上を目指す予定である。

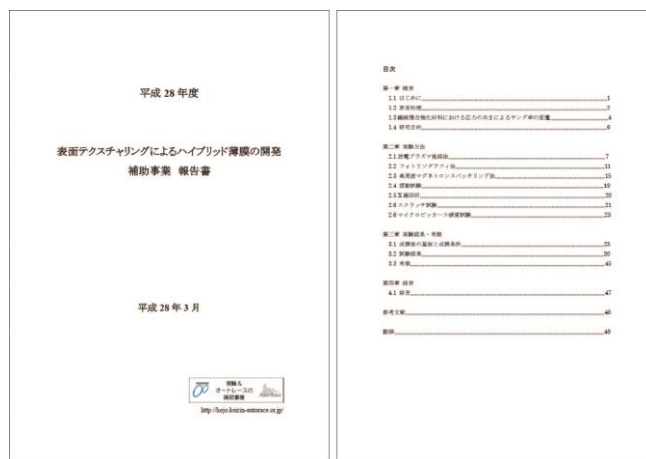
6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- 1) 北御門雄大, 長谷川裕之, “高周波マグネトロンスパッタリング法により作製した (Cr,Al,Si)N の表面特性”, 表面技術, Vol.68, pp.298-302, (2017).
- 2) 北御門雄大, 中元寺功貴, 長谷川裕之, “窒化ジルコニウムをベースとする多元系セラミック薄膜の開発” 精密工学会 春季大会 講演論文集, M21, (2017).
- 3) 北御門雄大, 森 亮裕, 長谷川 裕之, “クロム系窒化物およびチタン系窒化物からなる積層膜の構築および薄膜特性の評価”, 表面技術協会 第 135 回講演会論文集, P-56, (2017).
- 4) 長谷川裕之, “表面処理研究室”, 設計工学, Vol.52, pp29 (2017).
- 5) 長谷川裕之, 北御門雄大, “窒化チタンの微細構造および表面特性に与えるタングステン添加効果” 精密工学会 九州支部講演会論文集, 310, (2016).
- 6) 北御門雄大, 長谷川裕之, “RF スパッタリング法による Cr 系セラミック薄膜の開発と工具摩耗への影響”, 精密工学会 九州支部講演会論文集, 311, (2016).

7 補助事業に係る成果物 (<http://saga-mech-surface.jimdo.com>)

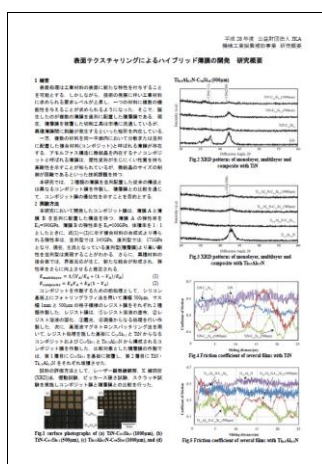
(1) 補助事業により作成したもの

平成28年度表面テクスチャリングによるハイブリッド薄膜の開発 補助事業 報告書



(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

表面テクスチャリングによるハイブリッド薄膜の開発 補助事業 研究概要



8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 佐賀大学大学院 (サガダイガクダイガクイン)

住 所： 〒840-8502

佐賀県佐賀市本庄町1番地

申請者： 准教授 長谷川 裕之 (ジュンキョウジュ ハセガワ ヒロユキ)

担当部署： 工学系研究科 機械システム工学専攻

(コウガクケイケンキュウカ キカイシステムコウガクセンコウ)

E-mail: hasegawa@me.saga-u.ac.jp

URL: <http://saga-mech-surface.jimdo.com/>